programa final

Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais

INFORMAÇÃO PARA UMA SOCIEDADE MAIS JUSTA

III Conferência Nacional de Geografia e Cartografia

IV Conferência Nacional de Estatística

Reunião de Instituições Produtoras
Fórum de Usuários
Seminário "Desafios para Repensar o Trabalho"
Simpósio de Inovações
Jornada de Cursos
Mostra de Tecnologias de Informação

27 a 31 de maio de 1996
Rio de Janeiro, RJ BRASIL

Uma das maneiras de olhar o ofício de produzir informações sociais, econômicas e territoriais é como arte de descrever o mundo. Estatísticas e mapas transportam os fenômenos da realidade para escalas apropriadas à perspectiva de nossa visão humana e nos permitem pensar e agir à distância, construindo avenidas de mão dupla que juntam o mundo e suas imagens. Maior o poder de síntese dessas representações, combinando, com precisão, elementos dispersos e heterogêneos do cotidiano, maior o nosso conhecimento e a nossa capacidade de compreender e transformar a realidade.

Visto como arte, o ofício de produzir essas informações reflete a cultura de um País e de sua época, como essa cultura vê o mundo e o torna visível, redefinindo o que vê e o que há para se ver.

No cenário de contínua inovação tecnológica e mudança de culturas da sociedade contemporânea, as novas tecnologias de informação - reunindo computadores, telecomunicações e redes de informação - aceleram aquele movimento de mobilização do mundo real. Aumenta a velocidade da acumulação de informação e são ampliados seus requisitos de atualização, formato - mais flexível, personalizado e interativo - e, principalmente, de acessibilidade. A plataforma digital vem se consolidando como o meio mais simples, barato e poderoso para tratar a informação, tornando possíveis novos produtos e serviços e conquistando novos usuários.

Acreditamos ser o ambiente de conversa e controvérsia e de troca entre as diferentes disciplinas, nas mesas redondas e sessões temáticas das Conferências Nacionais de Geografia, Cartografia e Estatística e do Simpósio de Inovações, aquele que melhor enseja o aprimoramento do consenso sobre os fenômenos a serem mensurados para retratar a sociedade, a economia e o território nacional e sobre as prioridades e formatos das informações necessárias para o fortalecimento da cidadania, a definição de políticas públicas e a gestão político - administrativa do País, e para criar uma sociedade mais justa.

Simon Schwartzman
Coordenador Geral do ENCONTRO

Promoção

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBGE
Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatistica
IBGE
Associação Brasileira de Estudos Populacionais
ABEP

Co-Promoção

Associação Brasileira de Estatística
ABE
Associação Brasileira de Estudos do Trabalho
ABET
Associação Brasileira de Pós-graduação em Saúde Coletiva
ABRASCO
Associação Nacional de Centros de Pós-graduação em Economia
ANPEC
Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ciências Sociais
ANPOCS
Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia
ANPEGE
Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional
ANPUR
Sociedade Brasileira de Cartografia
SBC

Apoio

Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FIRJAN
Academia Brasileira de Letras
ABL
Conselho Nacional de Pesquisas
CNPq
Financiadora de Estudos e Projetos
FINEP
Revista Ciência Hoje

Institutos Regionais Associados

Companhia do Desenvolvimento do Planalto Central
CODEPLAN (DF)
Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S/A
EMPLASA (SP)
Empresa Municipal de Informática e Planejamento S/A
IPLANRIO (RJ)
Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro
CIDE (RJ)
Fundação de Economia e Estatística
FEE (RS)
Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional
METROPLAN (RS)
Fundação Instituto de Planejamento do Ceará
IPLANCE (CE)
Fundação João Pinheiro
FJP (MG)
Fundação Joaquim Nabuco
FUNDAJ (PE)
Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SEADE (SP)
Instituto Ambiental do Paraná
IAP (PR)
Instituto de Geociências Aplicadas
IGA (MG)
Instituto de Pesquisas Econômicas, Administrativas e Contábeis
IPEAD (MG)
Instituto do Desenvolvimento Econômico Social do Pará
IDESP (PA)
Instituto Geográfico e Cartográfico
IGC (SP)
Instituto de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento "Jones dos Santos Neves"
IJSN (ES)
Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
IPARDES (PR)
Processamento de Dados do Município de Belo Horizonte S/A
PRODABEL (MG)
Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia
SEI (BA)

Coordenação Geral

Simon Schwartzman

Comissões de Programa

Confege

César Ajara (IBGE)
Denizar Blitzkow (USP)
Jorge Marques (UFRJ)
Lia Osório Machado (UFRJ)
Mauro Pereira de Mello (IBGE)
Speridião Faissol (UERJ)
Trento Natali Filho (IBGE)

Confest

José A. M. de Carvalho (UFMG)
José Márcio Camargo (PUC)
Lenildo Fernandes Silva (IBGE)
Teresa Cristina N. Araújo (IBGE)
Vilmar Faria (CEBRAP)
Wilton Bussab (FGV)

Comissão Organizadora

Secretaria Executiva - Luisa Maria La Croix
Secretaria Geral - Luciana Kanham
Confege, Confest e Simpósio de Inovações
Anna Lucia Barreto de Freitas, Evangelina X.G. de Oliveira, Jaime Franklin Vidal Araújo, Lilibeth Cardozo R.Ferreira e Maria Letícia Duarte Warner
Jornada de Cursos - Carmen Feijó
Finanças - Marise Maria Ferreira
Comunicação Social - Micheline Christophe e Carlos Vieira
Programação Visual - Aldo Victorio Filho e Luiz Gonzaga C. dos Santos
Infra-Estrutura - Maria Helena Neves Pereira de Souza
Atendimento aos Participantes - Cristina Lins
Apoio
Andrea de Carvalho F. Rodrigues, Carlos Alberto dos Santos, Delfim Teixeira, Evilmerodac D. da Silva, Gilberto Scheid, Héctor O. Pravaz, Ivan P. Jordão Junior, José Augusto dos Santos, Julio da Silva, Katia V. Cavalcanti, Lecy Delfim, Maria Helena de M. Castro, Regina T. Fonseca, Rita de Cassia Ataualpa Silva e Taisa Sawczuk

Registramos ainda a colaboração de técnicos das diferentes áreas do IBGE, com seu trabalho, críticas e sugestões para a consolidação do projeto do ENCONTRO.

O IMPACTO DO GPS NA ALTIMETRIA

Jorge Pimentel Cintra
Professor de Técnicas Topográficas e Cartográficas
Livre-docente da Escola Politécnica da USP

Prof. Dr. Nicola Paciléo Netto
Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da USP
C.P. 61548, CEP: 05424-970, São Paulo - SP

RESUMO

Apresentamos algumas pontencialidades do uso mais intensivo e preciso do GPS em altimetria, em função da construção de melhores cartas de ondulação geoidal.

1. Os Dados da Questão

Ao se falar em altimetria e GPS deve-se ter em conta os seguintes dados:

a) O nivelamento barométrico é de baixa precisão, sendo adequado para levantamentos expeditos, fornecendo erros da ordem de metros;

b) O nivelamento trigonométrico é de média precisão e, em princípio, poderia ser melhorado caso se façam visadas recíprocas e simultâneas. No entanto pesquisas têm mostrado que a refração atmosférica é um fator altamente imprevisível e deteriora a precisão, mesmo com todos os cuidados;

c) O nivelamento geométrico é de alta precisão e, com metodologia adequada, permite obter uma precisão dada por fórmulas do tipo $p = a \cdot \sqrt{k}$, onde a = constante e k = distância em quilômetros.

A constante a varia de 2 a 6 mm, em função do equipamento, técnicas empregadas e finalidade do levantamento.

d) O nivelamento GPS, embora relativamente preciso, não fornece a altura ortométrica mas a altura geométrica ou elipsoidal. Para ser utilizado necessita de um mapa geoidal.

e) Muitos problemas de engenharia necessitam da altura ortométrica com boa precisão. Para outros são suficientes precisões menores. A precisão decai proporcionalmente à extensão da obra e dos levantamentos.

f) Os levantamentos geométricos são trabalhosos, exigindo nivelamento, contranivelamento, percorrer toda a extensão da linha, etc. O GPS é um método mais rápido, reduzindo os trabalhos de campo.

2. O Impacto do GPS

Desses dados decorrem as seguintes linhas de ação, pesquisa e desenvolvimento:

a) É muito conveniente desenvolver técnicas e metodologias que aumentem a precisão do GPS para que este possa substituir o nivelamento geométrico em uma série de casos e aplicações, da engenharia.

b) Essas novas propostas dependem necessariamente no conhecimento das ondulações geoidais e portanto da elaboração de bons mapas geoidais, detalhados, precisos e confiáveis. Embora já existam alguns mapas, estes não possuem a resolução adequada para aplicações precisas melhorá-los é, portanto, uma tarefa importante e prioritária quando se fala em altimetria com o GPS.

c) O impacto do GPS será proporcional à sua potencialidade de substituir o nivelamento geométrico com sucesso em uma série cada vez maior de casos. Para isso são necessários estudos que mostrem a ordem de grandeza dos erros e precisões. Com isso será possível avaliar sua aplicabilidade a casos concretos. Este trabalho procura caminhar nessa direção.

3. Recordando Brevemente a Teoria

Do ponto de vista prático pode-se escrever a seguinte relação referente à figura 1:
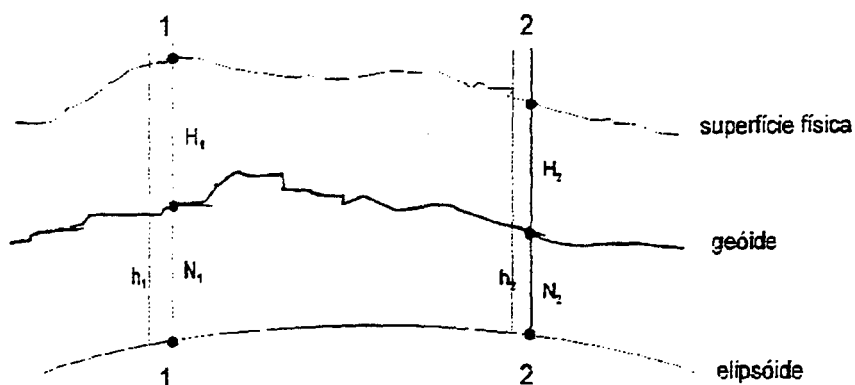
Figura 1 - Relação superfície física, geóide, elipsóide

$$h = H + N \quad (1)$$

onde:

h = altura geométrica

H = altura ortométrica

N = altura (ou ondulação) geoidal

A ondulação geoidal varia de ponto para ponto e os diversos Ni podem ser representados em uma mapa de curvas de isovalor de N referidos à superfície de um determinado elipsóide, por exemplo os associados aos sistemas WGS-84 ou SAD-69, caracterizados basicamente pelo semi-eixo maior (a) e pelo achatamento (α).

Para a construção desses mapas podem ser utilizados isoladamente ou e conjunto:

a) modelos do geopotencial associados a levantamentos gravimétricos;

b) observações GPS sobre pontos de nivelamento preciso (rede do IBGE, por exemplo). Nessa última hipótese o GPS fornece h, o nivelamento fornece H e calcula-se N por simples diferença, através da fórmula (1) transformada.

$$N = h - H \quad (2)$$

As duas técnicas, a) e b), permite obter o valor de N em diversos pontos que, se bem distribuídos e com densidade adequada, permitem desenhar o mapa das ondulações, o que equivale a interpolar valores na região sem dados.

Qualquer interpolação tem seus riscos e principalmente em grandes extensões pois pretende simular o comportamento do geóide entre dois pontos quaisquer (por exemplo 1 e 2 na figura 1).

4. Mapas Geoidais do Brasil

Seguindo a metodologia acima apontada, o IBGE e a Escola Politécnica da USP, através do Departamento de Engenharia de Transportes, vêm procurando elaborar cartas geoidais do Brasil. A mais recente (figura 2) publicada em 95 incorpora mais de 300 pontos de observação sobre a rede de nivelamento (200 com o sistema TRANSIT e o restante com o GPS) além de contar com intensos levantamentos gravimétricos nas regiões intermediárias. O modelo do potencial utilizado foi o JGM2.

Os erros médios esperados para essa carta são de 2,0m para o absoluto e 0,02m/km para o relativo. Esses valores permitem alguns cálculos e considerações, simples mas elucidativas, a respeito do uso desse mapa.

Realizando-se uma observação GPS sobre um ponto sem nivelamento obtem-se as coordenadas λ, φ e h. Com λ, φ e o mapa interpola-se o valor de N. Então, a altura ortométrica é obtida pela fórmula (1), reescrita como:

$$H = h - N \quad (3)$$

A precisão de H, ou seja da obtenção de cotas absolutas por esse processo, depende da precisão de h (erro médio do GPS) e de N (interpolação no mapa). Essa interpolação no mapa é

feita em função das curvas de isovalor, no caso de 2 em 2 metros. Costuma-se admitir para a interpolação gráfica o valor de 1/10 do espaçamento, que no caso corresponderia a 0,2m ou 20cm. Ou seja, quase desprezível quando comparado com o erro proveniente do mapa.

É preciso ter em conta que esse mapa de ondulações, nessa escala, não é uma verdade absoluta mas aponta tendências. E que além disso, há regiões de interpolação mais difícil, como é o caso da área de São Paulo onde existe um patamar. E que não se descarta também a possibilidade de haver um mal comportamento do mapa em alguma região.

5. Forma de Utilização desse Mapa de Ondulações Geoidais

Existem diversas formas de utilização para a obtenção de cotas ortométricas:

a) Utilização Expedita

Nesse caso, efetua-se a observação GPS no ponto de interesse, obtendo-se h; interpola-se o valor de N no mapa e calcula-se H por simples diferença (fórmula 3). A precisão desse valor fica condicionada à precisão do GPS (decímetro ou alguns centímetros) e da precisão do mapa (2m, como valor médio).

Para exemplificar, realizamos um teste no ponto P1 da rede GPS do Estado de São Paulo:

Coordenadas (com GPS): $\lambda = 46° 43' 53''$

$\phi = 23° 33' 03''$

$h = 718.562$ m

Do mapa (figura 2), obtivemos $N = -4,8$m

Então $H = h - N = 718.562 + 4.8 = 723.4$m

Por outro lado, é conhecida a altura ortométrica desse ponto: $H = 721,088$m, transferida de um ponto próximo, com H fornecido pelo IBGE. Isso implicaria num erro, nesse ponto, da ordem de

$e = 723.4 - 721.088 = 2.3$m
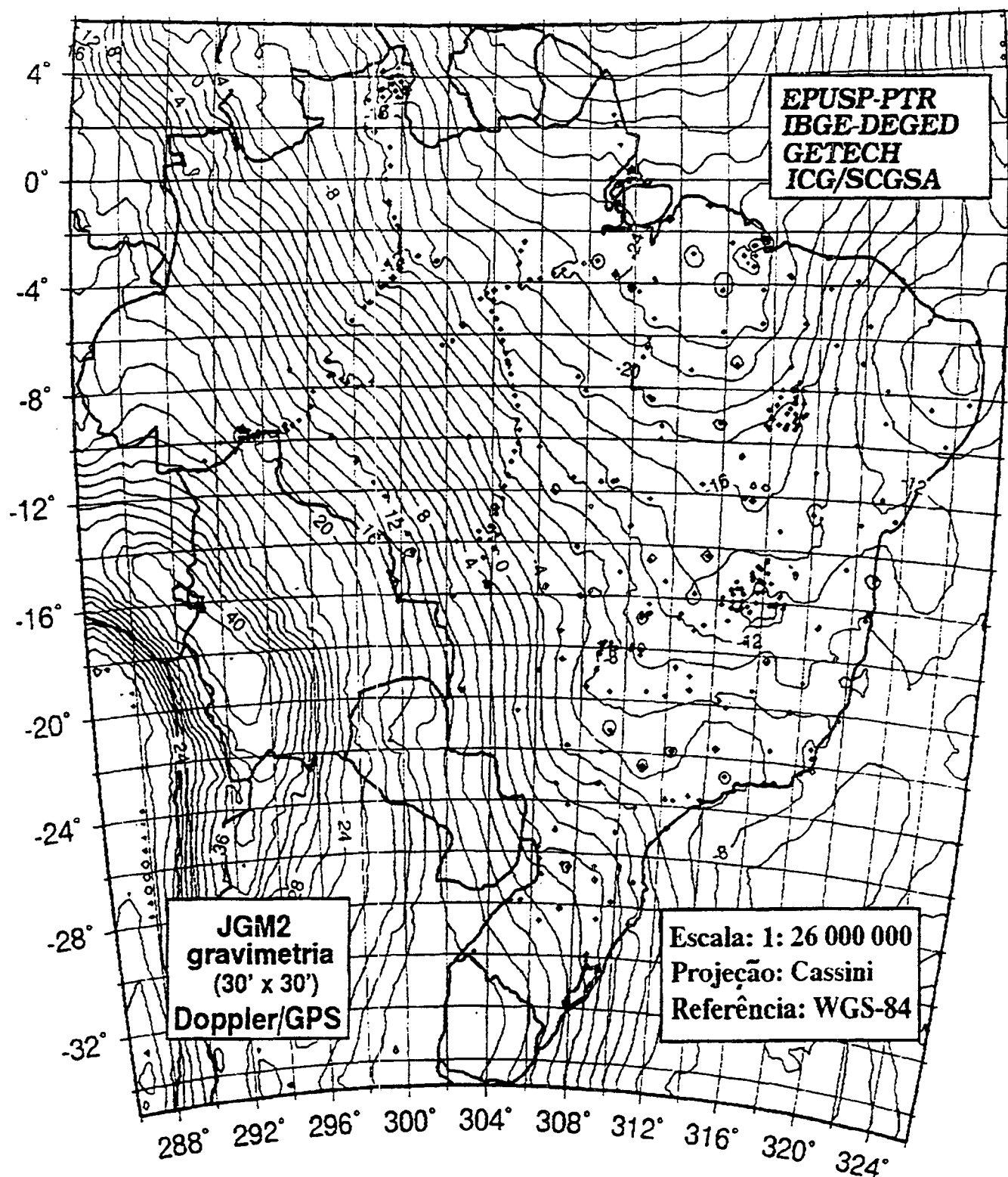
Figura 2 - Carta Geoidal do Brasil (1995) - PTR - EPUSP

O que está dentro das previsões do mapa.

Invertendo as coisas, isto é, supondo conhecido o valor do nivelamento, pode-se calcular a ondulação geoidal, que neste caso daria:

$$N = h - H = 718.562 - 721.088 = -2.53\text{m ou } N = -2{,}5\text{m}$$

Diversas aplicações poderiam usar procedimento. Por exemplo, uma empresa de aerofotogrametria poderia fazer todo o apoio de campo com o GPS, corrigindo os diversos h_i através do mapa de ondulações; ou adotando um valor médio de N se a região for pequena. Para melhorar um pouco mais a precisão, poderia efetuar observações GPS sobre alguns pontos de nivelamento obtendo valores de N mais precisos ou até "construindo" um mapa local de ondulações como se aponta a seguir.

b) Utilização de média precisão utilizando ΔN e um ponto do nivelamento

Essa outra forma de utilização considera que a precisão da diferença de dois valores é maior que a de cada valor isolado. Ou seja, pode haver um erro sistemático que seria eliminado realizando-se a diferença.

Considerando a figura e a fórmula 1 pode-se escrever:

$$h_2 = H_2 + N_2$$

$$h_1 = H_1 = N_1$$

Realizando a subtração e reagrupando teríamos:

$$H_2 - H_1 = (h_2 - h_1) - (N_2 - N_1)$$

(a) (b) (c)

O termo (b) é obtido através do GPS e o termo (c) através do mapa das ondulações. Posicionando o GPS num ponto 1, de cota (H_1) conhecida, obtém-se H_2.

A tecnologia GPS, num esquema de maior precisão, permite que os pontos estejam separados de até 100km. Esse valor é razoável para esse esquema de uso já que se deve buscar

um único ponto de nivelamento dentro de um raio de 100km do local da obra ou projeto (estrada. barragem....).

Em princípio essa seria uma maneira de melhorar a precisão com relaçao ao primeiro esquema proposto. No entanto. isto conflita um pouco com o valor que se fornece para a precisão relativa: 0,02m/km. o que levaria a um erro de 2m (igualando o erro absoluto), em pontos situados a uma distância de 100km. A conclusão a que se chega é que seria preciso matizar um pouco esse valor. coisa que se espera fazer na próxima edição desse mapa.

c) Utilização de precisão utilizando diversos pontos de nivelamento

Outro esquema seria utilizar diversos receptores GPS. fixando alguns em pontos da rede de nivelamento e outros em pontos cuja cota se quer determinar.

O esquema funcionaria de forma semelhante ao anterior só que obteriamos diversos valores de H_2, um para cada ponto de cota desconhecida. Ou seja. tantos quantos forem as estações fixas (GPS sobre RN's).

Isso levaria a um ajuste por minimos quadrados que pode inclusive incluir pesos em função da distância de cada estação fixa à estação em questão; ou considerando, na ponderação, uma parte constante (cm ou mm) e outra proporcional à distância (ppm).

Em todo caso. não se pode pretender uma precisão semelhante à do nivelamento geométrico já que há erros tanto no valor das RN's como principalmente no mapa das ondulações geoidais.

6. Sugestões de Melhorias

De tudo o que ficou dito surgem diversas linhas de estudos e pesquisas no sentido de melhorar os mapas geoidais existentes.

a) Mapas regionais de ondulação

Com os dados já existentes pode-se pensar em delimitar uma região mais ampla em torno de cada Estado e, com os dados aí localizados, desenhar o mapa de ondulações em uma escala melhor e com espaçamento de 1m, por exemplo.

Isso facilitaria o trabalho de interpolação e, pelo novo tamanho permitido da escala, proporcionaria melhor definição dos valores de N.

Apresenta-se, como exemplo (figura 3) o mapa das ondulações geoidais do Estado de São Paulo, elaborado pelo IAG-USP. Este difere do mapa do Brasil pelo fato de ter utilizado somente dados de gravimetria (valores médios de 5 minutos). É de se esperar um desvio devido à não consideração do termo de ordem zero (N_0).

Portanto, em vez de utilizar o valor absoluto, é preferível utilizar - especialmente nesse mapa - as diferenças de N (item 5. b).

b) Mapas locais de ondulação

Outra pesquisa que se vem desenvolvendo é a elaboração de cartas locais realizando observações GPS sobre a rede de nivelamento oficial ajustada do IBGE, em convênio com o Metrô de São Paulo.

Com 13 pontos dessa natureza elaborou-se a carta de ondulações da região da Grande São Paulo. Como não se utilizaram pontos de gravimetria, processo menos preciso, mas só observações GPS, espera-se que esse mapa seja mais confiável com relação aos anteriores.

Já foram ocupados mais 11 pontos para melhorá-lo e espera-se publicar nova versão até o próximo ano, tendo realizado um controle de qualidade dos valores e das técnicas de interpolação.
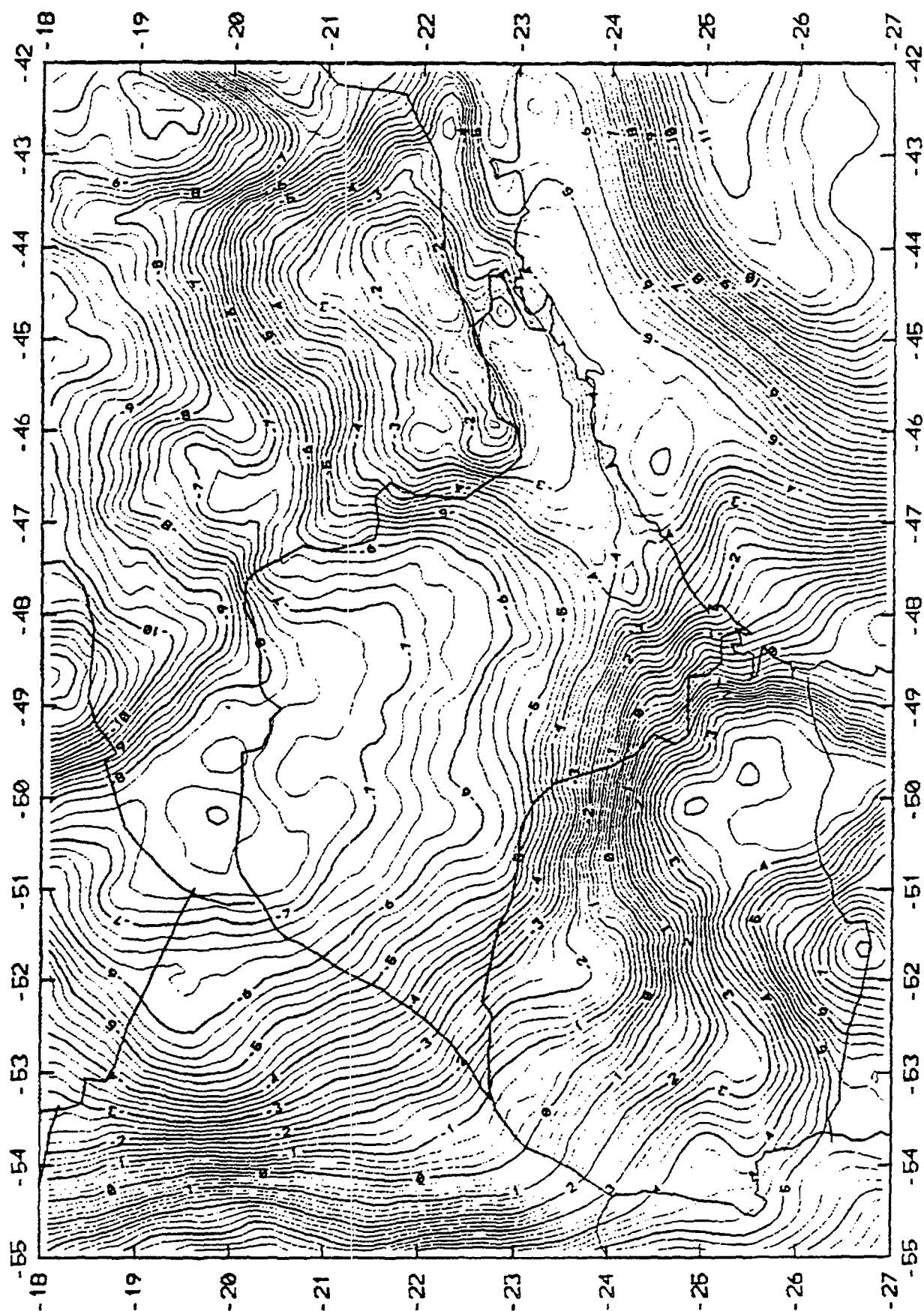
Figura 3 - Carta Geoidal do Estado de São Paulo (1995), referida ao WGW-84 e obtida por gravimetria - IAG-USP

A elaboração de mapas desse estilo é algo acessível a instituições que disponham de pelo menos dois receptores GPS. Em princípio bastaria solicitar ao IBGE a relação e descrição dos pontos da rede de nivelamento dessa região; a seguir verificar a existência dos vértices em campo e a viabilidade de sua ocupação com GPS; posteriormente realizar as campanhas de observação e finalmente efetuar o cálculo dos N e desenhar o mapa.

c) Campanhas para aumentar o número de dados

A principal deficiência, a nosso ver, é resultante do pouco número de pontos precisos (GPS) disponíveis para o desenho dos mapas. Um estudo da localização dos mesmos pode indicar regiões prioritárias para a coleta de mais pontos.

As campanhas de levantamento necessários podem ser feitas por regiões, aglutinando esforços de diversas instituições públicas e privadas.

d) Controle de qualidade dos mapas gerados

Isso pode ser feito através de pontos de controle cuja cota seria interpolada no mapa e comparada com o valor conhecido previamente (nivelamento).

Também é necessário conhecer bem , se utilizado, o programa computacional que gera as curvas de isovalor. Alguns não são muito confiáveis em função da metodologia e modelo matemático que empregam.

7. Conclusão

Ficaram apontadas algumas medidas, referentes à melhoria e utilização das cartas geoidais para que o impacto do GPS na altimetria se faça sentir com maior intensidade e rapidez, em obras de engenharia.